Стандарт №IPC-TA-722

Раздел №1

Пайка

Общее представление

Содержание:

1.0. Общее представление

1.1. «Несколько слов о процессе пайке»

В данной статье представлены некоторые аспекты по пайке, а в особенности, как они связаны с печатными монтажными схемами. Здесь описывается процесс пайки для электронных плат и комплектующих, а так же проводиться сравнение процесса пайки с другими соединительными технологиями. Данная статья является хорошим материалом для инженеров, которым требуется вводная инструкция о процессе пайки.

1.2. «Паяем легко: технический процесс пайки и возмозные повреждения, вызванные этим процессом»

В данном документе описывается три основных технических процесса пайки, а так же влияние данного процесса на паяное соединение.

1.3. «Важная информация, относящаяся к процессу пайки»

В данной статье описываются поверхность, флюс, мягкий припой, а так же необходимые температурные условия для обеспечения надежных паяных соединений. В данной статье так же описываются проблемы, которые могут возникнуть в каждой из данных областей.

1.4. «Применение процесса пайки для печатных плат»

В дополнении к обсуждению основных требований, а так же возникновению препятствий в процессе получения надежных соединений пайки, в данной статье так же представлены некоторые методы для обеспечения надежности при пайке, используя различные покрытия.

1.5. «Обеспечение надежности паяльного соединения, а так же обеспечение защиты от коррозии печатной платы и других комплектующих»

Данная статья содержит некоторые методы для проведения испытаний на паяемость печатных плат и слоистых материалов, покрытых медью, металлизированных сквозных отверстий, а так же проволочных выводов для различных комплектующих и подсоединений выводов к схеме – детали 1, 2, 3.

1.6. «Отсутствие каких либо дефектов во время паки наконечников для деталей 1, 2, 3 и 4»

В первой части данной статьи описывается значимость процесса пайки без дефектов. Оставшаяся часть статьи связана с закупками, рассмотром конструкции, проведению испытаний и стоимости.

Процесс пайки является основой в области электронной промышленности. Для любой компании, не зависимо от ее размера, качество процесса пайки зависит от вклада каждого. Конструкторы должны учитывать размещение паяльного соединения, соотношение между прорезью и выводом, а так же характеристики тепловых нагрузок. Агент по материально-техническому снабжению должен

выбрать поставщиков, кто будет постоянно поставлять паяные платы и комплектующие. Технологи должны отбирать нужное оборудование для изготавливаемой продукции. Материаловеды должны выбирать соответствующие флюсы и материалы, пригодные для пайки. И наконец, руководство должны проводить соответствующую подготовку персонала, если компания занимается производством хорошо-спаянной продукции. Для того, чтобы ознакомиться с тем, как процесс пайки влияет на различные области, нужно смотреть статью 1.4., а так же 1.6.

Что представляет собой процесс пайки?

Пайка – это процесс, при котором металлические части (обычно две) соединяются вместе механическим путем или же с использованием электрического оборудования, тем самым, позволяя жидкому металлу (припою) растекаться, а затем затвердевать. Припой – это легкоплавкий сплав, используемый в процессе пайки с достаточно низкой точкой плавления по сравнению с частями, которые должны быть соединены. Металлургическая структура паяного соединения состоит по крайней мере из 5 различных фаз (см.рис.1):

1. Первый основной металл сплава,
2. Интерметаллическое соединение между первым основным металлом сплава и припоем,
3. Кромка припоя,
4. Интерметаллическое соединение между вторым основным металлом сплава и припоем,

5. Второй основной металл сплава.

Интерметаллическое соединение может так же включать в себя одну или более фаз.

Процесс пайки

Физическое/химическое соединение возникает между молекулами припоя (обычно во время мягкого припоя) и молекулами основного металла (обычно меди). При спайке основного металла и сплава, атомы олова взаимодействуют с атомами основного металла для образования нового материала. В случае использования меди, данный материал будет являться сплавом на основе олова/меди, это обычно Cu_6Sn_5 или Cu_3Sn. Интерметаллическое соединение является ядром паяного соединения.

Интерметаллическое соединение является очень сильной связью. Оно намного прочнее, чем припой, что можно увидеть, когда проволочный припой отходит от вывода. Основная часть припоя представляет собой разрыв, которому подвергается слой припоя, плотно примыкающий как к проволоки, так и к выводу. Однако, толщена интерметаллического соединения – критична. Хотя сплав крепкий, но в тоже время он может быть непрочным. Если же он станет слишком толстым, то он может дать трещину под воздействием нагрузок. Обычное паяное соединение обеспечивает интерметаллическое соединение примерно около 1-2 микронов толщины. Обычно, при высокой температуре процесса пайки, а так же от продолжительности этого процесса возрастает толщина интерметаллического соединения. По этой причине, ручная пайка или же вторичное применение

данного процесса может привести к уменьшению надежности паяного соединения, если работа не будет выполняться быстро и квалифицированно.

Даже тогда, когда припой затвердеет, интерметаллическое соединение продолжит расти из-за диффузии твердого состояния. Хотя данный процесс протекает достаточно медленно, диффузия увеличивается при повышении температуры. Например, при просушке печатной платы, интерметаллическое соединение будет расти быстрее и сможет охватить все концы покрывающего припоя, особенно в тех местах, где покрытие тонкое такое, как у кромки металлизированного сквозного отверстия. Процесс пайки описан более подробно в статье 1.5.

Увлажнение припоя

Для формирования интерметаллического соединения припой должен «увлажнять» медь; чтобы обеспечить полный контакт 2 соединяющихся материалов. Для достижения поставленной цели, основной материал, используемый для пайки, должен быть тщательно очищенным. Большинство базовых металлов (главным образом медь) мгновенно окисляются на открытом воздухе. По этой причине, поток при плавлении (вымывающий агент) используется для удаления окислившегося слоя поверхности с основного металла, чтобы припой мог его увлажнять. Процесс увлажнения уравновешивает три различных поверхностных напряжения, как показано на рис.2.

Если же медь не является очищенной, угол смачивания тетта будет очень большим и припой не сможет течь по всей поверхности. Значимость

чистоты основного металла, а так же использование флюса, очищающего поверхность металла, не может быть излишней.

Так как увлажнение является очень важным, то самые неблагоприятные условия, когда не происходит никакого увлажнения. Такое явление может быть лишь в некоторых случаях. Плата или другие используемые комплектующие могут и не спаиваться. Некачественные технологические процессы могут снизить пригодность материалов к пайке. Однако, если платы или другие комплектующие слишком долго находятся в непригодных для них условиях, в результате этого они могут окисляться и впоследствии могут стать «не смачиваемыми». Восстановление пригодности материала и комплектующих к пайке не является очень сложным процессом. Однако, если способность основного материала подвергаться пайке достаточно низкая, то данная проблема будет уже сложнее. Для более подробного описания пригодности материала к пайке смотри статью 1.2.

Свойства качественного паяного соединения:

1) Твердая, плотная, металлическая целостность между поверхностями основных материалов,

2) Плотная, связная, однородная металлургическая структура,

3) Отсутствие пустот, полостей, пористых структур, вкраплений, окклюзий, задержки воды и т.д.

4) Форма и макроскопическая структура влияет на качественное увлажнение и структурные покрытия.

Свойства припоя, флюса и пайки

Основой большинства припоев является оловянно-свинцовый припой. И наиболее распространенным припоем является припой с использованием оловянно-свинцовая эвтектика (63% олова и 37% свинца) или же состава, близкого к эвтектике (60% олова и 40% свинца). Данный мягкий припой имеет самую низкую температуру плавления, а так же самый низкий диапазон вязкости. Данным диапазоном вязкости является диапазон температур между точкой плавления и точкой замерзания оловянно-свинцового сплава. В точке эвтектики, диапазон вязкости равен нулю (0).

Для припоев с широким диапазоном вязкости, вязкость должна оставаться абсолютно устойчивой пока припой медленно затвердевает, чтобы избежать возникновения трещин или пустот.

Если возможно, компании используют мягкие припои с низким содержанием олова, т.к. стоимость олова в 20 раз больше стоимости свинца. Однако, эти сплавы с низким содержанием олова требуют аккуратного с ними обращения и должны быть чрезвычайно чистыми. Один из самых известных трехкомпонентных сплавов содержит 52% олова, 45% свинца и 3% сурьмы, который улучшает свойство эластичности, а так же прочность с температурой диапазона вязкости только 14°C. Другие различные смеси мягких сплавов являются доступными только при определенных условиях (низкой температуры, высокой температуры и т.д.). Более подробно о выборе материала для пайки можно найти в статье 1.3.

Флюс, используемый во время пайки, является таким же значимым, как и сплав на основе олова. Наиболее распространенным видом является флюс на основе канифоля, в котором в качестве активного компонента для очищения основного металла, используется абиетиновая кислота. Другие виды флюса содержат различные более сильные кислоты, которые удаляют загрязнения и намного легче окисляют основной металл. Однако, они так же могут привести к коррозии металла и к проблемам, связанных с очисткой поверхности металла после процесса пайки. Ниже перечислены 4 основные фактора, связанные с выбором типа флюса:

1. Способность устранять окисления и загрязнения
2. Уменьшение напряжения поверхности металла
3. Коррозия и проблемы, связанные с очисткой поверхности металла после процесса пайки
4. Токсичность и удаление отходов

Пригодность к пайке

Под пригодностью к пайке материалов, понимается способность должным образом спаивать швы. Выделяют 3 основных фактора:

1) Взаимное притяжение между поверхностями,
2) Плотный контакт,
3) Характерные условия реакции.

Взаимное притяжение между поверхностями зависит от свойств самих металлов: на сколько качественно они были очищены, а так же от выбора мягкого припоя. Под полным контактом подразумевают

удаление окислившегося слоя металла и других загрязнений, за которые отвечает флюс. Требуемые условия реакции обычно связаны с требуемой температурой и временем, т.е. какое количество времени металлы находятся во взаимодействии.

Механические станки для пайки выполняют все шаги, необходимые для пайки, всего за одну операцию:

1) Очищение,
2) Сборка,
3) Флюс,
4) Подогрев,
5) Припой,
6) Удаление загрязнений при помощи флюса.

Сейчас большинство станков используют систему так называемой «двойной волны». Первая волна является турбулентной, чтобы обеспечить полный охват платы и устранить затенение. Вторая волна более спокойная, чтобы легче можно было удалить чрезмерное количество припоя, а так же устранить перемычки, образованные припоем. После того, как процесс пайки завершен, окончательным шагом является очищение оставшихся веществ при помощи растворителей.

Несколько слов о процессе пайки

Данная статья была подготовлена господином Клейном Воссвинком из центра производственной технологии, в Нидерландах. Данная статья была опубликована в 1983 году, а в 1990 году она была усовершенствована.

Что представляет собой процесс пайки?

Пайка – это процесс, при котором металлические части соединяются посредством другого жидкого металла

(припой), заполняющего пространство между ними, который в последствии затвердевает. Основной характеристикой данного процесса является тот факт, что припой должен иметь более низкую точку плавления по сравнению теми частями, которые спаиваются. Припой самопроизвольно заполняет «промежуток» во время того, когда он увлажняет твердые металлические части. Процессы пайки мягким припоем и твердым припоем различаются лишь только точкой плавления припоя:

Мягкий припой < 450ºС, обычно < 200ºС;

Твердый припой > 450ºС,обычно > 600ºС.

Учитывая разницу значений температуры, существует большая разница между практическим применением процессов пайки твердым и мягким припоем, хотя принцип работы такой же. Рассматривая процесс сварки, расплавляют сами основные металлы, и если необходимо, то добавляется дополнительный сварочный металл приблизительно того же состава. Обычно, большинство процессов пайки мягким припоем включают в себя достаточно большое количество швов, которые одновременно можно получить в D3 формате. Это так же можно сравнивать с процессом термокомпрессии. При сварки, процесс получения швов непрерывен.

В таблице №1 проводиться сравнение процессов термокомпрессии, сварки и пайки.

	Термокомпрессия	Пайка	Сварка
Время температуры	Низкая t, продолжительно 120ºСх2 часа 150ºСх1 час	Высокая t, продолжительно/кратковременно 250ºСх3 сек Иногда по всей поверхности, а иногда и выборочно	Очень высокая t, кратковременно 15000ºСх0*5 сек Применяется выборочно
Увеличение частей металла, которые должны соединяться	Абсорбирование в вязком состоянии (мягкое соединение)	Менее жесткое соединение	Жесткое соединение
Коррозия	Достаточная	Умеренная	Достаточная

Электричество	Зависимость от объема фракции присадного материала и давления (> 10 мОм)	Соприкасание металлов (+/-10 м ом)	Достаточное (< 1 мОм)
Прочность	Никаких проблем	Зависит от мягкого/твердого припоя	достаточно
Предварительная обработка (химич. или механич.)	Очистка, придание шероховатости поверхности металла (мех./хим.), удаление смазки	Очистка, сохранение в чистом состоянии	очистка
Технология	Термокомпрессия при фиксированном давлении	Иногда с закреплением давления, но в большинстве случаев без	Закрепление давления
Серийное производство	Просушка сразу нескольких образцов в сушильной камере одновременно	Иногда проводится одновременная просушка сразу нескольких образцов в сушильной печи	Просушка одного за другим, по очереди.
проблемы	Дозирование связывающего вещества	Чистая поверхность	Основной металл подвергается высокой температуре

В случае пайки для электронных приборов, электронные комплектующие не должны соприкасаться друг с другом. Обычно комплектующие закрепляют на основании печатной платы, которые так же предлагаются вместе с рисунком схемных соединений (печатних плат). На основании платы обычно есть отверстия, в которые проникает свинец и в последствии, закрепляется пайкой. Последнее время обычно используются те компоненты, которые закрепляются на поверхности основания печатной платы.

Параметры

Процесс пайки может привести к хорошим результатам только в том случае, если были соблюдены соответствующие меры предосторожности. Например, гарантирование соответствующего процесса пайки компонентов путем

выбора и обработки краев металлов, которые должны спаиваться. Большинство параметров для спаянной печатной платы такие же, как представленные на диаграмме рисунка 1.

Различные измерения, которые снимаются, должны соответствовать. Причем, это может быть получено только в том случае, если они образуют единую когерентную систему, где различные аспекты определяются с высокой точностью. На стадии разработки и проектирования в основе лежат компоненты, которые полностью пригодны для процесса пайки. Проектирование включает в себя форму компонентов, а так же и конфигурацию соединения на печатной плате, в том числе и обработку поверхности материала, который должен подвергаться пайки.

Кромки компонентов может быть сделаны из различных материалов, и это означает, что луженые медные проволоки, оловянные или железно-никелевые проволоки покрытые золотом, а так же проволоки из кобальто-никелевого сплава должны припаиваться к печатной плате. Все компоненты отличаются друг от друга термическими свойствами, а так же их способность выдерживать обработку, которая должна выполняться перед процессом пайки. Все выше упомянутые факторы должны учитываться.

Промежуток времени между изготовлением терминалов компонента и процессом их спаивания должен быть значительным (более 1 года). В это время различные свойства поверхностей, которые должны спаиваться, будут меняться. Такое дисперсионное твердение во время хранения очень сложно предугадать, так как условия, при которых храниться материал, в большинстве случаев не известны. По этой причине рекомендуется использовать только те процессы обработки, которые способствуют образованию хороших швов в момент пайки материалов. Если же данное не наблюдается, то потребуется лишь незначительный ремонт, который возможен при ограничениях и устранении не удовлетворительных результатов. Хорошее функционирование системы,

представленное на рис.1, гарантируется систематическим сравнением различных аспектов в рамках установленных технических условий. Сюда входят:

I – входной контроль компонентов

II – входной контроль печатной платы

III – проверка параметров процесса пайки

IV – систематический учет получаемых результатов.

Прилипание

Под термином прилипания понимается поток расплавленного припоя по поверхности твердого основного металла. Прилипание является неотъемлемой частью процесса пайки.

Окисление тонкого слоя поверхности

Прилипание в значительной степени зависит от окисления тонкого слоя твердой поверхности, который препятствует металлическому контакту между атомами припоя и атомами основного металла. Одной из особенностей флюса, является устранение окислителей с поверхности, тем самым, позволяя припою течь (рис.2 – на нем изображены две стадии во время течения расплавленного припоя по пластине, где флюс устраняет окисленный тонкий слой).

Напряжения поверхности

Во время металлического контакта между припоем и основным металлом степень прилипания определяется из условия уравновешивания напряжений поверхности, а так же межфазного натяжения, где:

I – расплавленный припой (межфазный припой-флюс)

II – твердый металл

III – межфазный твердый метало-припой.

Напряжение поверхности является условием из области термодинамики, которое выражается углом отклонения по отношению к поверхности (жидкости, а так же твердого

материала), которое должно быть на столько малым, на сколько это предоставляется возможным. Расплавленный припой на поверхности, изображен на рисунке 3, где напряжения 3х вышеуказанных поверхностей обозначаются 1, 2 и 3 соответственно. Угол контакта (тетта) очень важен и достаточно часто используется. При более хороших условиях прилипания, угол контакта будет меньше, чем показано на рисунке, и даже может быть уменьшен до нуля, а в случае плохого прилипания, угол контакта будет больше. Если же не наблюдается никакого прилипания и припой находиться на плоскости в виде сферической капли, то в данном случае угол контакта равен 180^{o}. Плоская область контакта между припоем и твердым металлом лишь частично оказывает воздействие. В действительности же, металлургические реакции в основном происходят на границах контакта, такие как распад твердого металла расплавленным припоем, а так же образование интерметаллических соединений.

Капиллярное воздействие

Прилипание твердых поверхностей при помощи припоя подразумевает, что припой заполняет щели и углы посредством, так называемого капиллярного воздействия. Данной воздействие используется при спайки для образования швов (рис.4).

Напряжение поверхности расплавленного припоя и плотность определяют конфигурацию спаянных швов. Интересным представляется тот факт, что комбинация напряжения поверхности и плотность припоя приводит практически к таким же результатам, как было получено с использованием воды. Вода выдерживает приблизительно 3 мм по сравнению со стеклом, как и липкий припой в сравнении с металлом.

Профиль припоя по отношению к стене, называется «эластическим слоем» и показан на рисунке 5 (изгиб провода, концы которого направлены в разные стороны так же отображают эту форму).

Более сложные жидкости получаются при симметричных ситуациях вращения. Пример такой ситуации для присадного материала припоя показан на рисунке 6.

Силы (воздействия)

Прилипание поверхности так же обусловлено силами, которые воздействуют на твердый и жидкий металл. Данные силы могут быть измерены и использованы для вычисления количества прилипания.

Проведение обработки путем погружения в какой-либо раствор

Прилипание так же может быть обеспечено путем помещения металлической пластины (например, из меди) в жидкий припой. Для обеспечения качественного прилипания пластина будет покрыта однородным, тонким слоем припоя. А в случае неполного прилипания, пластина лишь на половину покрывается припоем. Иногда мы имеем дело с выпотеванием, т.е. через некоторое время после качественного прилипания, на припое начинают образовываться капли. При подробном изучении это может произойти в результате нежелательных реакций на границе раздела поверхности. На рисунке 7 представлена граница с выпотеванием.

Если пайки выпотевает из меди, то поверхность сохраняет серебристо-белый цвет припоя. Это означает, что припой все еще присутствует или же мы имеем дело с реакцией между медью и припоем. Хотя не во всех случая выпотевание является дефектом процесса пайки, который необходимо предотвратить, т.к. он может оказать влияние на прочность спаиваемых швов, путем уменьшения в них количества припоя (так же рисунок 45).

Выпотевание обычно возникает, когда на твердой поверхности находятся небольшие участки, которые не прилипают и в результате этого, поверхность однородного тела не является стабильной, и на ней могут образоваться капли, особенно когда между каплями находиться очень тонкий слой пайки (рис.8).

Пайка без использования флюса

Только если выполняются некоторые условия, то процесс пайки может протекать и без использования флюса. Но в данном случае одна из поверхностей не должна содержать окисей, например, когда на основном металле в качестве покрытия используют золота.

Второй пример приводиться с использованием ультразвуковой пайки. При этом, объекты, которые должны подвергаться пайки, погружаются в мягкий припой, при котором кавитация генерируется посредством ультразвуковых колебаний. Однако процесс, в котором не используется флюс, применятся достаточно редко.

Аспекты, связанные с нагреванием

Тепло и передача тепла являются очень важными процессами для пайки. Спаиваемые части должны увеличиваться достаточно быстро под действием температуры пайки.

Стратегия нагрева

С точки зрения нагрева выделяют две основные группы в процессе пайки:

1) Те, для которых температура в любом случае достигает ситуации равновесия и где нагрев прекращается достаточно быстро после того, как был получен спаянный шов (обычно это быстрые процессы, смотри рисунок 9,а);

2) Те, для которых компоненты, которые должны спаиваться, нагреваются в зависимости с ранее определенной температурой равновесия (обычно это медленные процессы, смотри рисунок 9, b);

Например, первая группа включает в себя процесс пайки волной припоя, а вторая группа – пайку посредством погружения в горячую жидкость.

Нагрев основания пластины

Когда происходит нагрев пластины с одной стороны (нижняя сторона), то потребуется некоторое время прежде, чем другая сторона (верхняя) достигнет определенной температуры. В случае пластиковых пластин таких, как многослойных бумаг на основе фенольной смолы, потребуется от 10 до 20 сек прежде, чем они нагреются полностью. Что же касается оксида алюминия, то нижняя и верхняя стороны всегда имеют одну и туже температуру. Нагрев зависит не только от условий нагревания, но так же, и от удельной теплоемкости и передачи тепла между источником обогрева и нижней частью пластины.

Нагревательные компоненты с выводами проволоки

Выводы (или электропроводка), например, в процессе пайки волной припоя, погружают в жидкий припой. Корпус компонентов нагревается посредством проводимости тепла от выводов. Данную ситуацию можно сравнить с электрической моделью, как показано на рисунке 10.

Выводы очень быстро достигают требуемой температуры, но сам корпус чуть позже, т.е. выводы достигают температуру пайки (>200^{o}C) например, через 1 сек, а температура корпуса – через 4 сек все еще остается ниже 100^{o}C (при отсутствии равновесия).

Поведение при нагреве зависит от следующих факторов (рисунок 10):

Теплоемкости корпуса компонента (С), теплостойкости между припоем и выводом (R_s), теплостойкости вывода (R_l=ql/S). Теплостойкости между корпусом компонента и средой, а так же разницей между первоначальной температурой и температурой пайки (Е).

Температурный режим компонентов и проводки схематически изображен на рисунке 11. На нем лишь только ограниченный диапазон соответствует времени контакта и температурам пайки, что служит результатом получения качественных швов без каких-либо тепловых повреждений компонентов.

Тепловая адаптация

Для более длинных выводов применяются совершенно другие тепловые положения:

1) Конец вывода тем быстрее достигает определенной температуры, чем менее сильный охлажден корпуса компонента;

2) Корпус достигает определенной температуры позже, так как тепло поступает через длинные выводы.

Тот же самый эффект наблюдается если мы имеем дело с выводами, изготовленными из материалов низкой проводимости. Картина расположения проводников на печатной плате, в особенности на верхней стороне двусторонних пластин с металлизированными отверстиями могут непосредственно влиять на температурный режим.

Низкотемпературные припои

Низкотемпературные припои, используемые в электронике всегда, содержат олово и свинец.

Оловянно-свинцовая диаграмма

На рисунке 12 изображена, так называемая оловянно-свинцовая диаграмма. Горизонтальная ось означает соединение от 0% олова (100% свинца) до 100% свинца (0%

олова). Вертикальная ось означает температуру по С. Выше линии PES оловянно-свинцовые сплавы полностью расплавлены. Точка Е является точкой эвтектики: эвтектический сплав (с 62% олова) имеет низкую точку плавления (183 С) из всех оловянно-свинцовых сплавов. Данный сплав (или сплав с 60% олова и 40% свинца)наиболее часто используется в электронике. На стадии затвердевания структура припоя содержит кристаллы с большим содержанием олова и кристаллы с большим содержанием свинца, которые очень важные для смешанных структур, как показано на рисунке 13.

Характеристикой данных сплавов является то, что их структура и связанные с ними материалы не являются стабильными. Плотность оловянно-свинцовой пайки 8000 кг/м^3 в жидком состоянии и приблизительно 8500 кг/ м^3 твердом при комнатной температуре.